УДК 669.017.16:539.384

В.В. МУЛЬЧИН, Д.С. ЛОМОНОСОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ТРУБНОЙ СТАЛИ 20 СО СТРУКТУРОЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОГО КОМПОЗИТА

Приведены результаты экспериментальных исследований о влиянии структуры трубной стали 20 на характеристики сопротивления разрушению. Показано, что с целью достижения максимально возможных характеристик сопротивления разрушению необходимо определить зависимость этих характеристик при варьировании объемной доли упрочняющей фазы и отношения l/d.

Ключевые слова: *строчечная структура, естественный ферритно-мартенситный композит, трещиностойкость, испытания на статический изгиб.*

Введение. В современном производстве большой интерес вызывает повышение механических и эксплуатационных свойств разнообразных материалов, в том числе и трубной стали ответственного назначения.

Как показал литературный обзор [1-5], при решении проблем улучшения комплекса механических и эксплуатационных свойств применялось армирование материала прочной фазой.

Целью данной работы является не обсуждение механизмов образования естественного ферритно-мартенситного композита, а изучение возможности положительного влияния данной структуры на сопротивление деформации.

Определение структуры композита с дискретными слоями упрочняющей фазы. Структуру естественного ферритно-мартенситного композита (ЕФМК) получали в схеме трубопрокатного стана Таганрогского металлургического завода путем закалки из межкритического интервала температур A_1-A_3 за счет остаточного тепла (t=760-780^{0}C) после операций редуцирования и калибровки. В процессе предшествующих операций прошивки и прокатки трубы из стали 20 формируется практически идеальная строчечная структура по причине зарождения избыточного феррита на подложках, вытянутых в процессе горячей деформации включений (Fe,Mn)S. Для надежного получения строчечной структуры в процессе плавки выдерживали содержание серы и марганца по верхнему пределу марочного состава. На рис.1 показана структура стали 20, полученная охлаждением на воздухе после операции прокатки (рис.1, а) и охлаждением в воде с температуры 780^{0}С (рис.1, б).

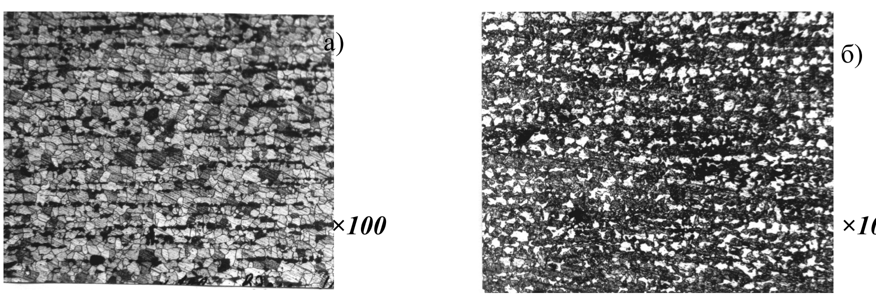


Рис.1. Строчечная ферритно-мартенситная структура стали 20 (а) и структура ЕФМК (б)

Образцы для испытаний вырезали вдоль направления прокатки. Металлографические исследования показали, что слои мартенсита в ЕФМК имеют форму пластин, то есть в данном случае формируется структура композита с дискретными слоями прочной фазы. Таким образом, мартенситный участок представляет собой параллелепипед, ориентированный наибольшей осью l вдоль направления прокатки, а отношение l/h, где h – толщина слоя, определенная по данным статистических измерений, всегда больше 4,3, что обеспечивает полное восприятие внешней нагрузки армирующим слоем [1].

Испытания образцов на статический изгиб. Проводились испытания образцов с трещиной на статический изгиб. Возникновение и последующее развитие трещины фиксировалось методом электропотенциалов [2]. Для этого на образец 4 (рис.2) через реостат 5 от понижающего трансформатора 6 подавался переменный электрический ток промышленной частоты, величина которого регулировалась при помощи автотрансформатора 7. В результате у краев исходного надреза появлялась разность потенциалов, которая фиксировалась при помощи милливольтметра переменного тока 1 и записывалась регистрирующим устройством 2. Для исключения влияния на результаты измерений напряжения сети питание приборов установки осуществлялось через стабилизаторы напряжения 3 и 8.

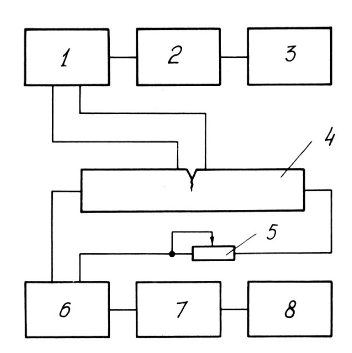


Рис.2. Блок-схема измерения разности потенциалов

При статических испытаниях на изгиб величина разности потенциалов регистрировалась на фотоленте осциллографа К12-22 совместно с усилием нагрузки. По данным осциллографирования определялись значения коэффициента интенсивности поля напряжений перед трещиной K_Q по формуле работы [2]:

$$K_Q = \frac{3\ P\ L}{t\ b^{3/2}}\ Y, \qquad (1)$$

где P – нагрузка, при которой начинается движение трещины; L – половина расстояния между опорами, на которые устанавливается образец; t и b – соответственно толщина и ширина изучаемого образца; $Y = \varphi\ \frac{l}{b}$ - тарировочный коэффициент, учитывающий геометрию образца и длину трещины l.

На рис.3 показаны результаты эксперимента для стали 20 в горячекатаном состоянии с хаотичным расположением перлитных колоний и ЕФМК.

Видно, что развитие трещины у стали со структурой ЕФМК происходит скачкообразно, а у горячекатаной стали разрушение происходит мгно-

венно при достижении критической нагрузки. Обработка осциллографом показала, что у ЕФМК стабильное развитие трещины всегда начинается при более высоком значении критической нагрузки на образец (см.рис.3,в).

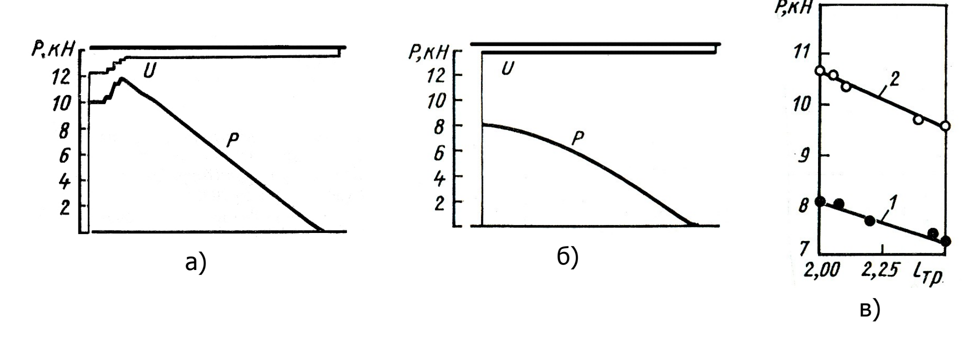


Рис.3. Осциллограмма испытаний на статический изгиб образцов с трещиной: а – ЕФМК; б – состояние после горячей прокатки; в – зависимость критической нагрузки от длины трещины: 1 – ферритно-перлитная структура, 2 – ЕФМК

По данным, полученным из осциллограмм, были рассчитаны значения коэффициента интенсивности напряжений, а по данным испытаний образцов с усталостной трещиной на динамический изгиб – значения работы развития трещины КСТ[1] (таблица).

Характеристики сопротивления разрушению стали 20

Структура	КСТ, кДж/м^2	K_Q, МН/м$^{3/2}$
Горячекатаное состояние (феррит+перлит)	145±10	55,6±1,0
ЕФМК	280±20	75,3±1,5
Примечание: показаны доверительные интервалы при P=0,95 и n=5		

Обсуждение результатов. Приведенные результаты убедительно доказывают, что композиционный материал имеет более высокую конструктивную вязкость, то есть способность материала сопротивляться развитию трещины. Энергоемкость процесса развития трещины обуславливает более высокую работоспособность и надежность реальных конструкций, в том числе и труб из малоуглеродистых сталей. В связи с этим поведение трещины в композиционном материале (чувствительность к надрезу) является одной из важнейших его характеристик.

Экспериментальные данные получены для стали 20, в которой объемная доля упрочняющей фазы в композиции составляет ~50%. Вместе с тем известно, что увеличение объемной доли упрочняющей фазы должно вызывать снижение работы разрушения материала. При распространении трещины поперек направления армирования работа разрушения главным

[1] КСТ – обозначение ударной вязкости по ГОСТ 94-54-78.

образом определяется природой металлической матрицы и размерными соотношениями частиц армирующей фазы [4]. При прохождении трещины в пластичной матрице, армированной частицами, имеющими соотношение *l/h*, близкое к критическому [4], последние не должны разрываться, а будут выдергиваться из матрицы. Это вызывает торможение распространения трещины ввиду большого рассеивания энергии. Между тем для естественного композита, в котором граница между арматурой и матрицей является межфазной, процесс выдергивания армирующей фазы из матрицы, по нашему мнению, является маловероятным. Более предпочтительным представляется другой механизм разрушения, описанный в работе [5], автор которой полагает, что в композиционных материалах с ориентированной второй фазой затруднено расслоение вдоль волокон до разрушения сдвигом в этом направлении. До того как армирующее волокно разорвется перед фронтом трещины, освободив тем самым путь ее движению, должна продеформироваться сдвигом матрица. Наличие достаточно больших сдвигов в матрице параллельно волокнам снижает концентрацию напряжений перед “устьем” распространяющейся перпендикулярно волокнам трещины, что затрудняет ее распространение.

Таким образом, несколько снижая отношение длины армирующих волокон в композиционном материале к их диаметру, можно заметно повысить его вязкость.

Выводы: 1. Показано, что трубная сталь 20, структура которой организована по принципу естественного ферритно-мартенситного композита, имеет существенно более высокие характеристики сопротивления разрушению (в 1,3-1,9 раза), чем горячекатаная сталь с хаотичной ферритно-перлитной структурой.

2. С целью достижения максимально возможных характеристик сопротивления разрушению необходимо определить зависимость этих характеристик при варьировании объемной доли упрочняющей фазы и отношения *l/d.*

Библиографический список

1. *Иванова В.С.* Физика и химия обработки материалов/ В.С.Иванова, Л.М. Устинов. 1969. №2. – С.114-121.
2. *Сорокин В.Л.* Применение электропотенциального метода для определения характера развития трещины /В.Л.Сорокин, В.Ф.Змитрук, Г.В.Шербединский // Заводская лаборатория. 1981, т.47, №12. – С. 60-62.
3. *Браун У.* Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации / У.Браун, Дж.Сроули. – М.: МИР, 1972. – 248 с.
4. *Келли А.* Высокопрочные материалы/ А.Келли. – М.: МИР, 1976. – 261 с.
5. *Таран А.В.* Природа разрушения высокопрочных материалов / А.В.Таран. // МиТОМ, 1971, №1. – С.55-61.

Материал поступил в редакцию 12.11.07.

V.V. MULCHIN, D.S. LOMONOSOV

PERFORMANCES OF CRACK RESISTANCE OF THE TUBE STEEL 20 WITH STRUCTURE OF THE NATURAL FERRIT-MARTENSITIC COMPOSITE MATERIAL

Results of experimental researches about influence of structure of trumpet steel 20 on characteristics of resistance to destruction are resulted. It is shown, that with the purpose of achievement of the greatest possible characteristics of resistance it is necessary for destruction to determine dependence of these characteristics at a variation of a volume fraction of a strengthening phase and the attitude l/d.

МУЛЬЧИН Василий Васильевич (р.1955), заместитель начальника трубопрокатного цеха Таганрогского металлургического завода, соискатель кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» ДГТУ.
Область научных интересов: физические и технологические основы методов улучшения характеристик механических и эксплуатационных свойств трубной стали ответственного назначения.
Имеет 3 научные публикации.

ЛОМОНОСОВ Дмитрий Сергеевич (р.1982), ассистент кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» ДГТУ. Окончил ДГТУ (2005), специальность – инженер-материаловед.
Область научных интересов: физические и механические свойства материалов, исследование трещиностойкости материалов и природа распространения трещин.